

卫星电视原理电路及维护

舒 标 主编

卫星电视原理电路及维护

舒 标 主编



电子科技大学出版社

44412

卫星电视原理电路及维护

舒 标 主编

SONY

川新登字(016)号

内 容 提 要

本书取材以 C 波段为主,兼顾 Ku 波段,内容密切结合当前卫星电视接收的实际情况。全书共分十章,从物理意义出发,阐述了卫星电视广播的基本原理,接收系统技术参数的设计计算,总体方案的制定,以作为后续章节的基础。天线、馈源、室外单元、室内单元是本书的重点,详细介绍了具体的适用电路及具体参数,可作为分析、制作和维修电路的参考。接收站的建设,信号的分配,系统的测试和维修,接收机的改制式是卫星电视接收站工作人员和业余爱好者及维护人员最感兴趣的。最后还详细地介绍了 MAC 制及 MAC 接收机。

本书既可作为大学通信专业、电视专业的教学用书,又可作为卫星电视地面站工作人员的培训教材,也可作为业余爱好者自学和维修用书。

电子科技大学出版社出版

(中国成都建设北路二段四号)

电子科技大学出版社激光照排中心照排

成都农垦印刷厂胶印

四川省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 23 字数 549 千字

版次 1993 年 8 月第一版 印次 1993 年 8 月第一次印刷

印数 1—5000 册

中国标准书号 ISBN 7-81016-499-6/TN·133

定价:17.00 元(覆膜)

前 言

早在 1945 年就有人提出利用同步卫星实现通信的设想,随着空间技术的发展和卫星通信技术、电视技术的日臻完善,现在不仅能用通信卫星传送电视信号,而且正在用直播卫星(DBS)广播电视节目。采用小型简易天线和卫星接收机使卫星电视进入个人家庭,这是卫星技术和无线电电子学的伟大成就。

我国于 1970 年 4 月 24 日成功地发射了第一颗人造地球卫星“东方红一号”,“东方红”乐曲响彻太空。1984 年 4 月 8 日发射了第一颗试验通信卫星“东方红二-1”号,1988 年 3 月 7 日又成功地发射了通信卫星“东方红二甲-1”号,标志着我国的航天技术和卫星通信技术进入了世界先进行列。我国计划于 1993 年发射“东方红三号”新一代大型通信卫星,星载转发器 24 个,工作于 6/4GHz,等效全向辐射功率 $EIRP = 40.5\text{dBW}$,使用较小口径天线即可接收电视节目,使我国的卫星电视广播技术达到国际水平。

1992 年 8 月 14 日和 12 月 21 日,我国用“长二捆”火箭将澳大利亚的两颗通信卫星成功地射入太空,表明我国航天发射能力进入一个新的发展阶段。

我国从 1985 年开始用卫星传送电视以来,已形成中央两套电视和 30 路广播节目覆盖全部国土。其人口覆盖率达 80%,卫星地面站已达 3 万座,而且每年增长率在 50%以上,在这些站中又有 50%以上用于转播,至于各种大大小小的卫星电视接收系统至少达二、三十万台,我国卫星电视广播已迎来了蓬勃发展的时期。这种形势需要有一些书籍配合卫星电视广播的教学、科研、地面站建设及设备的维护。

作者长期从事卫星电视广播技术的教学、科研工作。1985 年为大学本科学生编写了《电视新技术》(包含卫星电视广播技术)教材,1988 年应《电视技术》杂志社的约稿撰写了《卫星电视接收技术》讲座文章,在 1989 年 1 至 7 期上连载。在短短的七讲中,简明扼要地论述了卫星电视广播的基本原理,接收系统的性能分析、接收机的技术参数计算和总体方案、室外单元、室内单元的具体电路分析、计算和维修,尤其是作者总结出的卫星电视接收系统技术参数设计流程图,只要知道卫星及其转发器参数、接收站参量、图像等级即可设计得接收系统的参数。文章发表后,很多读者来信希望加工成书出版,这也是对作者的鼓励。其后,作者在一些全国学术会议及刊物上发表了部份有关卫星电视广播的论文,在此基础上并参阅了国内外有关书刊、资料,编写了此书,借以向有关读者致谢。

本书共分十章,取材以 C 波段为主,兼顾 Ku 波段。从物理意义出发,阐述了卫星电视广播的基本原理,接收系统技术参数的设计计算,总体方案的制定,以作为后续章节的基础。天线、馈源、室外单元、室内单元是本书的重点,详细介绍了具体的适用电路及具体参数,可作为分析、制作和维修的参考。接收机的改制式是卫星电视接收站工作人员和业余爱好者最感兴趣的。因此,本书既可作为大学通信、电视专业教学用书,又可作为卫星电视地面站工作人员的培训教材,也可作为业余爱好者自学和维修用书。

本书的第一、四、五、六、十章由舒标编写,第三、七、八章由查彦彬编写,第二、九章由舒力编写。本书由舒标担任主编,并对全书进行了统稿。

电子科技大学无线电技术系张鑫镜教授在百忙中审阅了书稿,并提出了许多宝贵意见,在此表示谢意。

由于作者水平有限,书中不妥之处和错误在所难免,希望读者批评指正。

编 者

1993 年 2 月

于电子科技大学

目 录

第一章 卫星电视广播的基本原理

第一节 卫星电视广播的特点	(1)
一、同步卫星	(1)
二、采用宽带调频技术	(2)
三、广播信道多	(3)
四、电波利用率高,有效辐射功率大	(3)
五、信号弱,接收天线口径小,图像质量高	(4)
第二节 卫星电视广播的现状与发展趋势	(4)
一、国外卫星电视广播的状况	(4)
二、我国的卫星电视广播	(8)
三、卫星电视广播的发展趋势	(10)
第三节 卫星电视广播系统	(13)
第四节 卫星广播体制	(14)
一、FDM-FM-FDMA 体制	(14)
二、基带信号	(15)
第五节 频段分配和频道划分	(16)
一、频段分配	(16)
二、频道划分	(17)
三、上行频率	(19)
第六节 图像信号调制方式	(19)
一、调频改善度	(19)
二、传输频带	(22)
三、调频门限	(24)
第七节 预加重及去加重	(25)
一、视频信号预加重及去加重	(25)
二、伴音信号预加重及去加重	(28)
第八节 能量扩散	(29)
第九节 伴音信号传输方式	(29)
一、模拟传输方式	(29)
二、数字传输方式	(30)
第十节 上行发射站及卫星转发器	(30)
一、上行发射站	(30)
二、星载转发器	(31)

三、星载转发器实例	(33)
第十一节 家用直播卫星电视接收系统的组成	(37)

第二章 卫星电视广播接收系统的性能分析

第一节 接收天线的几何位置	(39)
第二节 卫星电视接收系统的输入功率	(41)
一、电波在自由空间的传输衰减	(41)
二、大气中的传输损耗和雨致损耗	(43)
三、接收系统输入端的等效输入电压	(44)
第三节 接收系统输入端的噪声功率	(44)
一、噪声温度	(44)
二、接收天线的噪声温度	(45)
三、传输线的噪声	(48)
四、接收机内部的噪声	(48)
五、接收系统的综合噪声	(48)
第四节 载噪比	(49)
第五节 视觉加权系数	(52)
第六节 图像评价信噪比及图像等级	(55)
一、图像评价信噪比	(55)
二、图像等级	(56)
三、评价图像质量的条件	(58)
四、声音信号的信噪比	(58)

第三章 卫星电视广播接收天线及馈源系统

第一节 天线类型	(60)
第二节 天线系统的特性	(62)
一、方向图	(62)
二、天线效率	(63)
三、增益	(64)
四、天线阻抗	(64)
五、天线噪声温度	(64)
六、天线的风荷	(65)
七、天线性能举例	(65)
第三节 螺旋线天线	(66)
第四节 抛物面天线	(67)
第五节 卡塞格伦天线	(69)
第六节 斜置馈电抛物面天线	(70)
第七节 平面微带天线	(70)
第八节 天线的馈源	(70)

一、前馈型馈源	(71)
二、后馈型高效率馈源	(72)
第九节 极化器	(73)
一、极化	(73)
二、圆极化波的接收	(74)
三、线极化波的接收	(78)
四、全极化变换器	(79)
五、圆—矩波导变换器	(80)

第四章 卫星电视接收系统的技术参数计算及总体方案

第一节 变频次数及中频选择	(81)
一、一次变频方案	(81)
二、二次变频方案	(82)
三、三次变频方案	(82)
四、中频选择及本振频率选择	(83)
五、中频带宽及滤波器型式	(84)
第二节 卫星电视接收系统的技术要求	(84)
一、卫星电视接收设备通用技术条件的技术要求	(84)
二、普及型卫星电视接收站的技术要求	(91)
第三节 已知条件及主要公式	(93)
一、已知参数	(93)
二、主要计算公式	(94)
第四节 设计总流程图	(95)
第五节 接收系统的总体方案	(98)
一、接收系统的组成方式	(98)
二、转播站的组成方式	(99)
三、波段兼容性	(99)
第六节 接收系统的增益分配和带宽分配	(100)
第七节 电路特点	(101)
一、天线	(101)
二、高放级	(101)
三、第一混频器	(102)
四、第一本振	(102)
五、前置第一中放	(102)
六、第一带通滤波器及第一中放	(102)
七、第二下变频器	(103)
八、第二带通滤波器及第二中放	(103)
九、限幅器及频率解调器	(103)
十、自动频率调整电路(AFC)	(103)
十一、视频处理电路	(104)

十二、伴音解调电路	(104)
-----------------	-------

第五章 卫星电视接收系统的室外单元

第一节 概述	(105)
一、功能和组成	(105)
二、主要技术要求	(105)
三、国内外C波段室外单元技术条件	(107)
第二节 低噪声前置放大器	(107)
一、微波场效应管	(107)
二、S参数等效电路	(108)
三、微波“晶放”的增益	(110)
四、二端口网络的稳定性	(112)
五、二端口网络的噪声系数	(113)
六、微带电路	(114)
七、史密斯阻抗圆图	(116)
八、低噪声场效应管微带放大器的设计	(116)
九、低噪声场效应管微带放大器实例	(124)
十、低噪声微波晶体管放大器	(127)
第三节 室外单元的直流供电	(128)
一、直流电源	(128)
二、场效应管供电方式	(129)
三、双极晶体管供电方式	(131)
第四节 微波频段带通滤波器	(131)
一、微带型带通滤波器	(132)
二、波导型带通滤波器	(133)
三、立体平面电路带通滤波器	(134)
四、电介质谐振器型带通滤波器	(136)
第五节 混频器	(137)
一、原理、类型及结构	(137)
二、指标	(138)
三、波导腔体结构反相型正交场平衡混频器	(139)
四、微带混频器	(140)
五、立体平面电路混频器	(146)
第六节 本机振荡器	(147)
一、性能和要求	(147)
二、介质谐振器	(148)
三、介质振荡器	(149)
四、倍频振荡器	(152)
第七节 第一中频放大器	(152)
一、概述	(152)

二、阻容耦合放大器	(153)
三、微带放大器	(154)
四、微带放大集成电路	(155)
第八节 第一下变频器实例	(157)
第九节 砷化镓单片微波集成室外单元	(159)
一、低噪声 MMIC 放大器	(160)
二、振荡器	(160)
三、混频器	(161)
四、第一中频放大器	(161)

第六章 卫星电视接收系统的室内单元

第一节 概述	(162)
第二节 第一带通滤波器及后置第一中频放大器	(163)
一、宽带滤波器	(163)
二、窄带电调谐滤波器	(165)
三、后置第一中频放大器	(167)
第三节 第二本机振荡器	(167)
一、频道调谐器	(167)
二、第二本振电路	(168)
三、频道预选器	(169)
第四节 第二下变频器	(170)
一、概述	(170)
二、微带电路双平衡混频器	(171)
三、晶体三极管混频器	(171)
四、谐波混频器	(172)
第五节 第二带通滤波器	(173)
一、LC 集中参数滤波器	(173)
二、声表面波滤波器	(174)
第六节 第二中频放大器	(175)
一、负反馈放大器	(175)
二、共发射极 RC 耦合放大器	(176)
三、共基极传输线变压器耦合放大器	(177)
四、差分对管宽带放大器	(178)
五、自动增益控制电路	(179)
六、集成电路放大器	(180)
第七节 限幅器	(184)
第八节 调频-调幅变换器	(186)
第九节 频率解调器	(187)
一、常规鉴频器	(188)
二、门限扩展频率解调器	(190)

第十节 自动频率控制电路	(197)
第十一节 去加重电路和去能量扩散电路	(198)
一、去加重电路	(198)
二、去能量扩散电路	(198)
第十二节 视频基带放大器	(201)
第十三节 伴音解调及处理电路	(204)
一、模拟伴音调频信号的解调	(204)
二、数字式伴音信号传输	(206)
三、数字式伴音信号解调	(210)

第七章 测量与调试

第一节 天线增益与品质因素	(214)
一、直接法	(214)
二、比较法测天线增益	(216)
三、间接法	(216)
第二节 室外单元测试	(217)
一、增益及幅频特性	(217)
二、噪声温度	(217)
三、噪声系数	(219)
四、饱和输入电平	(220)
五、本振频率稳定度	(220)
六、本振泄漏	(220)
七、镜像抑制度	(221)
八、交调干扰	(221)
第三节 室内单元的测试	(221)
一、工作频率范围及幅频特性	(221)
二、输入电平范围	(222)
三、镜像抑制度	(223)
四、第二本振泄漏	(223)
五、能量扩散信号抑制度	(223)
第四节 综合测试	(224)
一、选择性特性测试	(224)
二、图像信号噪声比(S/N)	(224)
三、调频解调门限电平	(226)
第五节 选行测试	(227)
一、视频输出电平	(227)
二、视频信噪比	(228)
三、视频非线性失真	(228)
四、视频线性失真	(230)
第六节 主要测量仪器	(232)

第七节 调试	(234)
一、室外单元调试	(234)
二、室内单元调试	(235)

第八章 卫星电视收转站的建设与信号传输

第一节 站址的选择	(239)
一、接收天线的仰角和方位角	(239)
二、天际线与保护角	(239)
三、干扰电平	(239)
四、其他条件	(242)
第二节 避雷与接地	(242)
一、避雷与接地	(242)
二、铁塔有效保护半径	(242)
第三节 设备的选购	(244)
一、输入电平的确定	(244)
二、天线的选购	(244)
三、室外单元的选购	(245)
四、室内单元的选购	(246)
第四节 设备的安装和调整	(252)
一、天线的安装	(252)
二、馈源的安装	(252)
三、调整	(252)
第五节 卫星电视接收站的转发方案	(253)
一、FM-VSAM 转换方案	(353)
二、转播站的联接方式	(254)
第六节 彩色电视差转机	(256)
一、分类	(257)
二、覆盖范围和频道选用	(259)
三、主要技术指标	(260)
第七节 调制器	(261)
一、集成电路调制器	(261)
二、分立元件调制器	(265)
三、变频式 UHF 调制器	(266)

第九章 卫星电视接收系统的维修和改制式

第一节 概述	(268)
一、查询	(268)
二、直觉检查	(268)
三、测量电压	(269)
四、专用仪器测量	(270)

第二节 常见故障原因分析	(271)
一、无图像、无伴音	(271)
二、有伴音、有图像,但在图像的背景上有较大的噪声	(271)
三、图像清晰度差	(271)
四、图像对比度淡	(271)
五、彩色色度失真	(272)
六、彩色色调失真	(272)
七、频飘	(272)
八、频道不能调谐	(272)
九、有图像、无伴音	(272)
十、伴音音量小	(272)
十一、伴音副载波调谐范围不够	(272)
十二、图像亮度闪动、“行扯动”、“行扭”、行不同步、图像顶部呈弯曲状	(273)
十三、天线驱动失灵	(273)
第三节 东芝 TSR-C ₃ 型卫星电视接收系统的维修	(273)
一、电路分析	(273)
二、调试	(279)
三、故障维修流程图	(280)
四、关键测试点直流工作电压、重要测试点波形及故障维修一览表	(288)
第四节 进口卫星电视接收系统的改制式和四制式解码器	(291)
一、改制式	(291)
二、TDA4550 四制式解码器	(293)
三、TA8616N 四制式解码器	(296)
四、多制式的自动转换	(301)

第十章 卫星电视传输中的 MAC 制式

第一节 概述	(302)
一、现有三大彩色电视制式的缺陷	(302)
二、MAC 制式的基本原理	(303)
三、MAC 制的种类和特点	(304)
四、MAC 编码器和译码器	(308)
五、MAC 制式的优点	(312)
第二节 D ₂ -MAC 制式	(313)
一、D ₂ -MAC 的原理	(313)
二、D ₂ -MAC 的系统	(316)
三、我国对 D ₂ -MAC 制式进行卫星传输试验的情况和 D ₂ -MAC 制式的优点	(322)
第三节 集成的 D ₂ -MAC 多制式电视接收机	(324)
一、D ₂ -MAC 视频处理	(325)
二、时钟和数据恢复	(327)
三、在数据包多路复用格式下的声音和数据	(330)

第四节 B-MAC 制式	(335)
一、图像信号编码	(336)
二、声音/数据复用	(337)
三、场消隐期包的分配	(339)
第五节 D ₂ -MAC 和 B-MAC 性能比较及优缺点	(339)
参考文献.....	(341)
附图.....	(342)

第一章 卫星电广播的基本原理

七十年代中期,随着卫星技术和电子技术的飞跃发展,出现了将卫星作为一个宇宙台转发器转发电视信号,实现大面积电视覆盖的新技术,这就是卫星电视广播。相对而言,目前人们用电视机收看地面电视台发射的电视信号,可称为地面电视。载有电视转发器的卫星有两种:一种是通信卫星(如C波段的4GHz卫星),主要用于通信,也用于转发电视信号。由于转发器功率小,频率不够高,所以抛物面接收天线口径大(4m左右),因而造价高,只能用作集体接收方式。另种是直播卫星(如Ku波段12GHz卫星),转发器功率大、频率高,接收天线口径小(可达0.6m),可用作家庭个体接收方式。每个家庭可自己购买一个卫星电视接收装置直接收看卫星电视,这就是卫星直播电视技术(DBS-TV)。直接接收卫星电视信号的接收机叫卫星直播电视接收机,它是卫星电视广播的发展方向。

第一节 卫星电视广播的特点

一、同步卫星

为了使地面接收设备能够长时间地稳定接收卫星来的电视信号,电视广播卫星必须是沿着地球赤道上空的同步轨道运行的同步卫星。该卫星绕地球一周的时间正好等于地球自转周期。因此,从地球上看来,这种同步卫星显得是在空中固定不动,故也称为静止卫星。

如图1-1所示,卫星绕地球作圆周运动的向心力由地球对卫星的万有引力提供。即

$$m \frac{v^2}{(R+h)} = mg \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

式中, m 为卫星质量, v 为卫星沿轨道切线方向的速度, R 为地球赤道半径($=6378\text{km}$), h 为卫星离地球表面的高度, g 为重力加速度($=9.8\text{米/秒}^2$),计算可得卫星运转周期 T 为

$$T = \frac{2\pi(R+h)}{v}$$

对于赤道同步卫星, T 等于地球自转周期($=23\text{小时}56\text{分}4\text{秒}$),则同步卫星高度 h 为

$$h = \left(\frac{TR}{2\pi} \sqrt{g} \right)^{2/3} - R = 35786\text{km} \quad (1-1)$$

如图1-1所示,如果卫星转发天线张角为 17.34° ,就能覆盖1.7亿平方公里的地面,只要相距 120° 的三颗同步卫星,就能将整个地球表面覆盖完。为了使此轨道上的卫星互不干扰,国际电联(ITU)规定卫星彼此间必须保持 3° 的距离,因此,赤道上空能够允许同时存在的同步卫星为120个。现在采用 2° 的距离。同步卫星可达180个。

由于目前广播卫星要靠太阳能供电,可是,对卫星而言的日食将使太阳能电池中断发电。在一年之内共有93天发生这种日食,所以必须使卫星西移,把对卫星而言的日食开始时刻推迟到地面上夜间广播结束之后。卫星位置每西移 1° ,能使日食开始时间推迟4分钟。卫

星西移后,从服务区地面观看卫星的仰角减小,来自卫星的电波易受山岭的遮蔽,也易受到地面电台的干扰。其次,电波穿越大气层的传播距离增加,损耗增大。所以,卫星西移量不宜超过 30° 。

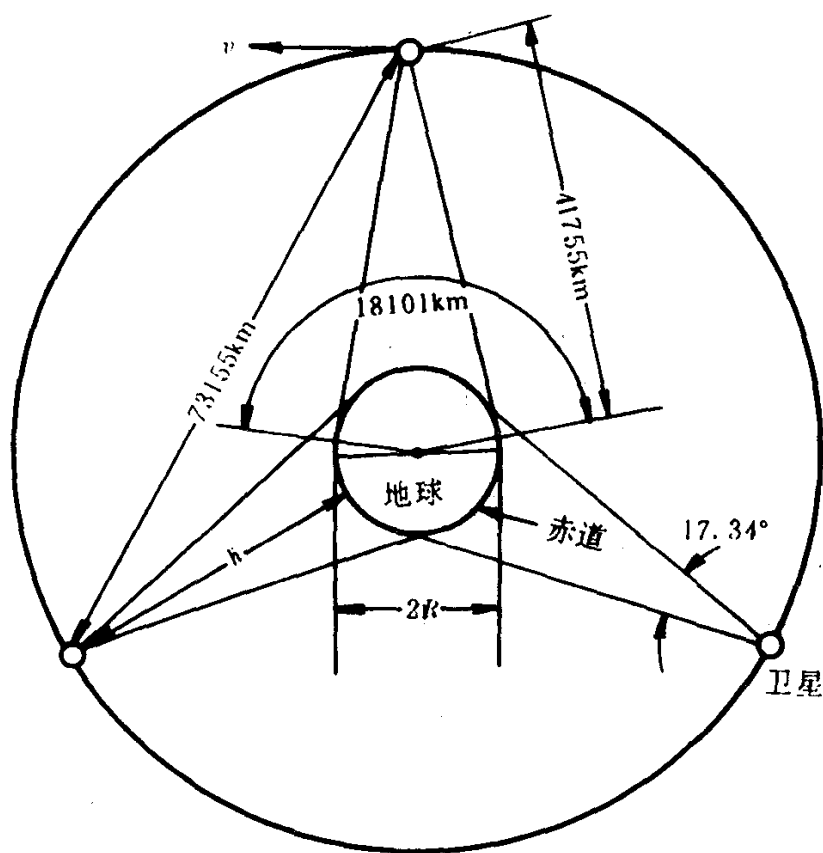


图 1-1 同步卫星绕地球运动

卫星电视,卫星通信还会发生“卫星凌日”现象。“凌”在此作“侵犯”解释,意思是卫星“侵犯”了太阳。“卫星凌日”时,地面站、通信(电视)卫星和太阳排成一条直线,地面站的天线既对准了卫星,也对准了太阳,既接收到卫星的无线电信号,也接收到太阳发射的无线电波,太阳表面温度很高,是一个强烈的无线电波噪声源,它把通信卫星发来的有用无线电信号(电视信号)淹没掉了。由于人造卫星个儿(体积)很小,离地球较近,所以“凌日”时间较短,约 10 分钟左右。例如,我国通信卫星位于东经 87.5° ,太阳每天下午北京时间 2 时 10 分“经过”东经 87.5° 上空。处于东经 87.5° 以东的广大地区,“凌日”的时刻在下午 2 时 10 分之后;东经 87.5° 以西的地区则在下午 2 时 10 分之前,所处的纬度不同,观察到的“卫星凌日”的时间长短也不同。1992 年 3 月 1 日至 15 日整整半个月的时间,每天下午 2 时至 3 时左右,从我国通信卫星接收电视节目的地面站,发生了大约 10 分钟的节目中断现象,中央电视台在 3 月 7 日的晚间新闻联播节目中就作了报导,说明这一现象是由于“卫星凌日”所造成的。

卫星广播载波频率越低,接收天线方向图上的主瓣越宽,允许使用方向性差的接收天线,因而对卫星定点精度的要求越低。例如,714MHz 和 2.6GHz 频段的卫星,要求东西方向和南北方向定点精度为 $\pm 1^\circ$ 。而 12GHz 频段则要求 $\pm 0.1^\circ$,故对 12GHz 卫星的测控要求高得多。

二、采用宽带调频技术

卫星电视广播主要使用 SHF 波段 ($3 \sim 30\text{GHz}$),其中用得最多的是 C 波段 ($3.7 \sim$

4.2GHz)和 Ku 波段(11.7~12.2GHz)。每个波段宽度为 500MHz,能容纳多达 24 个频道,而且每个频道带宽可达 20~30MHz。从而允许采用宽带调频技术。

调频制本身的接收输出信噪比高,加之采用门限扩展解调技术、加重与去加重,调幅抑制制度高的限幅器以及卫星通信中的能量扩散和箝位技术,使卫星电视广播的抗干扰能力强,失真小,接收设备简单,调频发射机输出的饱和功率比调幅的线性功率大得多。

可用宽带调频来换取卫星转发器的小功率发射。只需调幅制的百分之一以下的功率,就可以得到同样的效果,从而减小卫星上设备的重量,大大节约卫星发射的费用。调频制还使卫星传输系统间的保护率要求降低,减小了卫星轨道间距、降低了卫星广播信号间的干扰。

三、广播信道多

前述,C 波段和 Ku 波段的每个波段有 24 个频道,若利用频率分隔法可安排 12 个信道节目(每隔 40MHz 一个信道),再用极化分隔法、即垂直极化和水平极化,或左旋极化和左旋极化分隔,实现频率复用,可将节目信道数增加到 24 个。若卫星电视接收系统采用窄波束天线,只有当接收天线对准卫星转发器天线时,才能接收到来自该卫星的电视节目。这种空间分隔法又可将信道数增大 m 倍(m 为卫星数)。目前,一个卫星电视接收系统能接收上百套电视节目。

四、电波利用率高,有效辐射功率大

与地面电视广播相比,卫星广播的一个突出优点是电波利用率高。例如,一部设在平原地区功率为 50kW,载频为 100MHz 的发射机,使用高度为 200m、增益为 8.3dB 的六层发射天线,若接收天线高 10m,则服务区半径为 85km,此时边缘场强为 $1\mu\text{V}/\text{m}$ 。从理论计算知,电磁波的电场强度 $E(\text{V}/\text{m})$ 和磁场强度 $H(\text{A}/\text{m})$ 之间的关系是 $E/H=Z=120\pi$,即为自由空间的波阻抗。电磁波的功率通量密度 ϕ 是电磁波传播方向上每秒流过每平方米面积的能量 W ,也就是传播方向上单位面积接收到的功率 P 。即

$$\phi = \frac{W}{t \cdot S} = \frac{P}{S}$$

式中, t 为时间, S 为服务区面积。而

$$\phi = |E \times H| = \frac{E^2}{120\pi}$$

则服务区内的辐射功率 P 为

$$P = \frac{E^2}{120\pi} S \quad (1-2)$$

若服务区半径也为 85km, $E=1\mu\text{V}/\text{m}$, 则 $P=60\text{W}$ 。故 50kW 发射机的功率大约只有 1/1000 是有效的。

造成地面广播效率如此低的原因:一是服务区内场强分布极不均匀,二是大量电波向空中发射。

卫星转发器都采用定向发射天线,这样,接收功率不仅与发射功率有关,而且与发射天线增益有关。在卫星通信系统中,这一性能用发射机输出功率 P_T 与发射天线增益 G_T 的乘积表示。并称等效全向辐射功率,简称等效辐射功率,用 EIRP 表示。即

$$\text{EIRP} = P_T G_T \quad (\text{W}) \quad (1-3)$$